

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Autor:** Kateřina Haasová

**Vedoucí práce:** Ing. Václav Železný

**2019**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Haasová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **466535**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav energetiky**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Evropská energetika v kontextu havárie na JE Fukušima**

Název bakalářské práce anglicky:

**European energy in the context of the accident at the Fukushima NPP**

Pokyny pro vypracování:

Úvodní část práce bude obsahovat stručný popis havárie na jaderné elektrárně Fukušima včetně jejích základních dopadů. Stěžejní část práce bude zaměřena na evropský kontext havárie. Obsahem této části bude jednak obecné shrnutí role sdělovacích prostředků v této události (informace, dezinformace) a s tím související reakce obyvatelstva. Dále pak bude tato část práce zaměřena především na rozhodnutí, ke kterým na základě uvedené havárie a následného vývoje došlo na půdě EU, přičemž největší pozornost by měla být věnována těm s nejvýznamnějšími dopady, jako jsou například změny energetické politiky v některých členských státech, opatření realizovaná pro zvýšení bezpečnosti provozovaných jaderných elektráren a další.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

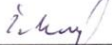
**Ing. Václav Železný, ústav energetiky FS**

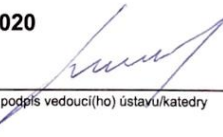
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **11.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2020**

  
Ing. Václav Železný  
podpis vedoucí(ho) práce

  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24. 4. 2019  
Datum převzetí zadání

Haasová  
Podpis studentky

## **Anotační list**

**Jméno autora:** Kateřina Haasová

**Fakulta:** Fakulta strojní

**Zadávací ústav:** Ústav energetiky

**Studijní program:** Teoretický základ strojního inženýrství

**Akademický rok:** 2018/2019

**Název bakalářské práce:** Evropská energetika v kontextu havárie na JE Fukušima

**Název bakalářské práce anglicky:** European energy in the context of the accident  
at the Fukushima NPP

**Vedoucí práce:** Ing. Václav Železný

**Bibliografické údaje:** Počet stran: 41

Počet obrázků: 10

**Klíčová slova:** havárie, Fukušima, evropská energetika, zátěžové testy, energetická politika

**Key words:** accident, Fukushima, European energy, stress tests, energetics policies

**Anotace:** Tato bakalářská práce se zabývá vývojem evropské energetiky po havárii na jaderné elektrárně Fukušima. Obsahuje popis havárie, současný stav jaderné elektrárny a roli sdělovacích prostředků. Dále je popsáno shrnutí výsledků zátěžových testů prováděných na jaderných elektrárnách a následný vývoj evropské energetické politiky.

**Annotation:** The bachelor thesis deal with a development of european energy after the nuclear Fukushima accident. It contains a description of an accident, current state of the nuclear power plant and the role of media. There is also described the conclusion of the outcomes of the stress test performed on the nuclear power plants and following development of european energetics policies.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně s použitím pramenů a literatury, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne: .....

.....

Podpis

## Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Václavu Železnému za odborné vedení práce, které mi poskytoval v průběhu jejího zpracování.

# Obsah

1. Úvod.....	7
2. Jaderná elektrárna Fukušima Daiichi .....	8
2.1. Havárie na jaderné elektrárně Fukušima Daiichi.....	8
2.2. Následky havárie.....	11
2.3. Fukušima po havárii.....	12
3. Role sdělovacích prostředků .....	15
4. Opatření pro zvýšení bezpečnosti jaderných elektráren.....	17
4.1. Jaderná elektrárna Dukovany.....	19
4.2. Jaderná elektrárna Temelín .....	20
4.3. Zátěžové testy v Německu .....	20
5. Energetika v EU po havárii .....	22
5.1. Jednotlivé státy .....	25
5.1.1. Belgie.....	25
5.1.2. Bulharsko.....	26
5.1.3. Česká republika.....	26
5.1.4. Finsko .....	28
5.1.5. Francie .....	29
5.1.6. Německo .....	30
5.1.7. Itálie .....	32
5.1.8. Švýcarsko .....	33
6. Závěr.....	34
7. Seznam použité literatury .....	35
8. Seznam použitých zkratek.....	40
9. Seznam obrázků .....	41
10. Seznam grafů .....	41
11. Seznam tabulek .....	41

## 1. Úvod

Jaderná havárie, která zasáhla 11. března 2011 Fukušimu, se stala po havárii v Černobylu druhou nejhorší havárií. Příčinou byla přírodní katastrofa (zemětřesení a následná vlna tsunami), která si vyžádala mnoho obětí. Bohužel došlo i k lidské chybě, kdy při projektování bylo podceněno riziko přírodních katastrof a nepočítalo se s tak vysokou vlnou, která zaplavila nevhodně umístěné generátory v suterénu. Následovala panika, která se šířila světem. Státy vlastníci jaderné elektrárny začaly s kontrolou svých elektráren a následnými bezpečnostními opatřeními. V některých státech dokonce došlo ze strachu z jaderné havárie k uzavírání jaderných elektráren.

Jaderná energetika v Evropě hraje důležitou roli, v některých státech je nepostradatelným zdrojem elektrické energie. Po havárii ve Fukušimě byla postupně přijímána další opatření pro zvýšení bezpečnosti jaderných elektráren.

Tato bakalářská práce se zabývá vývojem energetiky v Evropě po havárii a následnou změnou evropské energetické politiky.

V první části je popsána havárie jaderné elektrárny ve Fukušimě, jaké měla následky a jaká je zde situace v dnešní době. Dále je v bakalářské práci popsána role sdělovacích prostředků, které vyvolaly v řadě států paniku. Informace, které média prezentovala, byly často neověřené a nepravdivé. Následuje popis zátěžových testů a bezpečnostních opatření. V závěru práce se nachází již zmiňovaný vývoj evropské energetiky, změna politiky Evropské unie a popis energetiky v jednotlivých státech.

## 2. Jaderná elektrárna Fukušima Daiichi

### 2.1. Havárie na jaderné elektrárně Fukušima Daiichi

Jaderná elektrárna Fukušima se nachází na východním pobřeží Japonska na území města Okuma a Fubata. Patřila mezi nejvýkonnější elektrárny na světě. Provoz byl zahájen 26. března 1971. Elektrárna měla celkem 6 bloků nacházejících se přibližně 10 m nad mořem. [2]

11. března 2011 bylo Japonsko zasaženo zemětřesením a následnou vlnou tsunami. Epicentrum zemětřesení bylo v oceánu přibližně 130 km od pobřeží města Sendai viz obr. 1. Jednalo se o dvojité zemětřesení a trvalo přes 3 minuty. Na Richterově škále dosáhlo až stupně 9. Následná vlna tsunami způsobila větší zkázu než samotné zemětřesení. Až 39 m vysoké vlny zaplavily pobřeží Pacifiku. Místy vlna pronikla až 15 kilometrů do vnitrozemí.

Vlna a zemětřesení zasáhly čtyři jaderné elektrárny-Fukušima Daiichi, Fukušima Daini, Tohoku Onagawa a Japco Tokai. Všechny reaktory byly automaticky odstaveny, když zemětřesení započalo. [3]



Obrázek 1 Epicentrum zemětřesení [34]

V jaderné elektrárně Fukušima systém automatické ochrany okamžitě vypnul 3 reaktory, které byly v době zemětřesení v provozu. Byla přerušena dodávka elektřiny, protože došlo k poškození rozvodné sítě. Aby bylo zajištěno chlazení reaktorů a zejména odvod zbytkového výkonu, byly spuštěny naftové generátory. Během zemětřesení nedošlo k žádným větším škodám díky dobře provedené stavbě, která byla na tuto formu katastrofy projektována. Po necelé hodině dorazila k pobřeží asi 14 m vysoká vlna tsunami. Její velikost přesáhla i ochranné opatření, kterým elektrárna disponovala. Měla vydržet náraz vlny o výšce 5,7 m. Byla poškozena čerpadla čerpající vodu na chlazení a hlavně byly zaplaveny a vyřazeny



z provozu naftové generátory, které se nacházely pod úrovní moře. Tímto ztratily schopnost udržovat chlazení reaktoru a cirkulace vody. Záložní baterie zajišťovaly chlazení i nadále, ale měly omezenou životnost pouze několik hodin. [3] [4]

Při havárii byly poškozeny 4 bloky jaderné elektrárny viz obr. 2. Sled událostí je popsán tabulkou č. 1.



Obrázek 2 Schéma elektrárny [33]

## Blok 1

Blok 1 byl uveden do provozu roku 1970. Při zemětřesení byl jako ostatní bloky automaticky odstaven. Po odstavení poklesl výkon na 4-5 %, po hodinovém chlazení asi na 1 % viz graf 1. Poté byl blok zasažen vlnou tsunami. Kvůli přerušení dodávky elektrické energie a nefunkčnosti pasivního chlazení došlo k natavení paliva. Došlo k tavení zirkonového opláštění a k oxidaci zirkonové slitiny. Kyslík, který se vyskytuje ve vodní páře, se začal vázat na zirkon a tím došlo k uvolňování velkého množství vodíku. K této reakci dochází při havarijních podmínkách při teplotě nad 650 °C. Jaderné reaktory jsou většinou vybaveny rekombinátory vodíku. [5] [6] Uvolněný vodík byl vypouštěn do sekundárního kontejnmentu, kde explodoval. Celistvost primárního kontejnmentu byla zachována. Později se to samé opakovalo na bloku 3. [2] [4]

## Blok 2

Blok 2 byl uveden do provozu roku 1973. Nastala zde podobná situace jako na bloku 1. Nepodařila se zjistit hladina vody v reaktoru ani stav systému izolačního chlazení (RCIC - systém, který se používá při poruše napájení). Byly zajištěny baterie pro odtlakování.

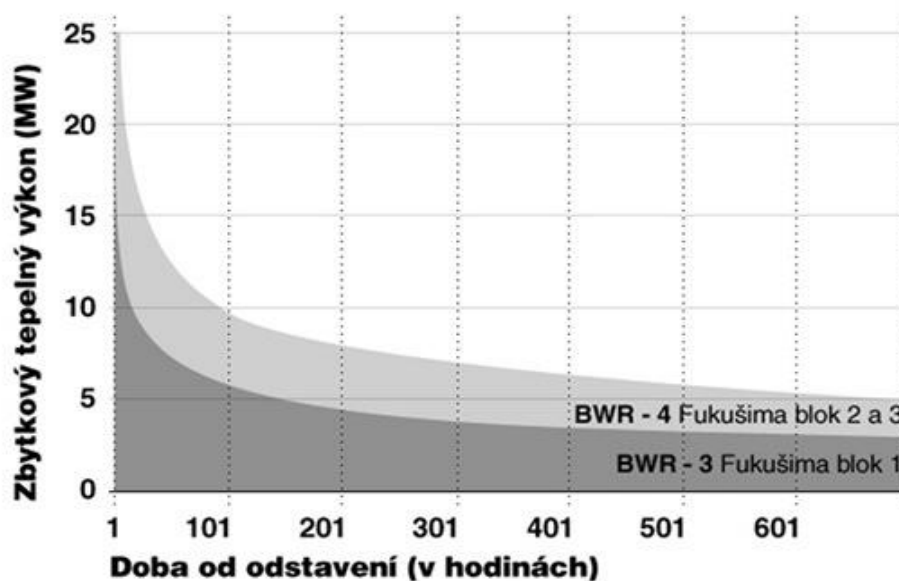
Nepodařilo se otevřít odlehčovací ventily. Došlo k poklesu hladiny v reaktoru pod spodní konec paliva a začalo se poškozovat palivo, čímž došlo k nárůstu tlaku a tepla, které se uvolňovalo reakcí se zirkonem. Kvůli existenci podezření, že byla poškozena budova kontejnmentu, byli zaměstnanci, kteří nebyli zapotřebí k přímému zvládnutí havárie, evakuováni na elektrárnu Fukušima Dai-ni. [1] [2]

### Blok 3

Blok 3 byl uveden do provozu roku 1974. V tomto bloku bylo palivo MOX (směsné oxidické palivo). MOX obsahuje cca 5 % oxidu plutoničitého, který snižuje teplotu tavení. Po vyčerpání technické vody se rozhodlo, že se bude chladit mořskou vodou. I přes snahu chlazení došlo k výbuchu nashromážděného vodíku. [2] [4] [7]

### Blok 4

Blok 4 byl uveden do provozu roku 1978. Odstaven byl v listopadu 2010. Palivo nebylo v aktivní zóně, ale v bazénu vyhořelého paliva. Ztrátou elektrické energie došlo k zastavení cirkulace vody a k zástavě chlazení paliva. Voda v bazénu se vypařila a došlo k požáru paliva. [2] [4]



Graf 1 Úbytek zbytkového tepelného výkonu po odstavení [35]

	Blok 1	Blok 2	Blok 3
Ztráta elektrického napájení	+ 51 min	+ 54 min	+ 52 min
Ztráta chlazení	+ 1 hodina	+ 70 hodin	+ 36 hodin
Hladina vody až na vrchol paliva *	+ 3 hodiny	+ 74 hodin	+ 42 hodin
Začátek poškození aktivní zóny *	+ 4 hodiny	+ 77 hodin	+ 44 hodin
Poškození tlakové nádoby reaktoru *	+11 hodin	nejisté	nejisté
Požární čerpadla se sladkou vodou	+ 15 hodin		+ 43 hodin
Výbuch vodíku (nepotvrzeno pro blok 2)	+ 25 hodin	+ 87 hodin	+ 68 hodin
Požární čerpadla s mořskou vodou	+ 28 hodin	+ 77 hodin	+ 46 hodin
Elektrické napájení mimo lokalitu	+ 11-15 dnů		
Chlazení vodou	+ 14-15 dnů		

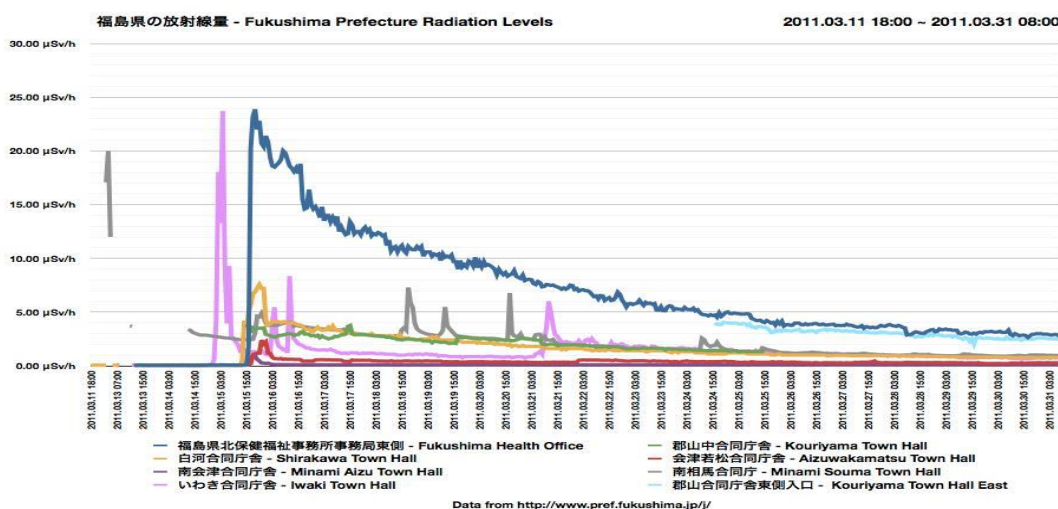
\* podle analýzy MAAP z roku 2012

Tabulka 1 Sled událostí po zemětřesení [3]

Reaktory se podařilo dostat pod teplotu 100 °C (tzv. studený stav) až na konci roku 2011. [8]

## 2.2. Následky havárie

Havárie měla za následek únik radiace do okolí a byla kontaminována voda v oceánu viz graf 2. Mezi hlavními radioaktivními látkami, které unikly do okolí, byl izotop jódu-131 a cesium-137. Většina radiace zůstala v okolí elektrárny a jen malá část se šířila dále do různých částí světa, ale jen v malých koncentracích. Nejvíce byla zasažena prefektura Fukušima a města ležící na západě od jaderné elektrárny. Dávkový příkon rychle klesal a neměl vliv na zdraví obyvatel. [9]



Graf 2 Radiační situace v prefektuře Fukušima [9]

Bylo důležité sledovat zdroje pitné vody. Naštěstí ani v jednom z vodních zdrojů v Tokiu (vzdálených asi 200 km) nebyl limit pro dospělého člověka, který je 300 Bq/kg, překročen. Pro kojence je však limit menší a k jeho překročení došlo. Byl vyhlášen zákaz používání vody pro kojence z vodovodu, což způsobilo velkou poptávku po balené vodě a následně její nedostatek. Po snížení radiace ve vodě byl zákaz odvolán. Došlo pouze k vyvolání obav, ale ne k ohrožení zdraví. Podobná situace se stala i v prefektuře Čiba. V prefektuře Točigi, Ibaraki a Fukušimě byl stav vážnější. Na pár dní tam byl překročen i limit pro dospělého člověka. Nastal problém i s dodávkou vody a potravin do těchto postižených oblastí. Testy prokázaly, že žádné malé dítě nebylo vystaveno záření, které by představovalo zvýšené riziko rakoviny. [9]

Bylo evakuováno přes 150 000 obyvatel. Na rozdíl od Černobylu ve Fukušimě nepřišel nikdo o život při úniku radiace. Velkou ztrátu na životech si však vyžádalo zemětřesení a následná vlna tsunami. Nutno dodat, že psychické a sociální dopady havárie jaderné elektrárny Fukušima a obavy z radiace a přírodních katastrof jsou nevyčísitelné. [50]

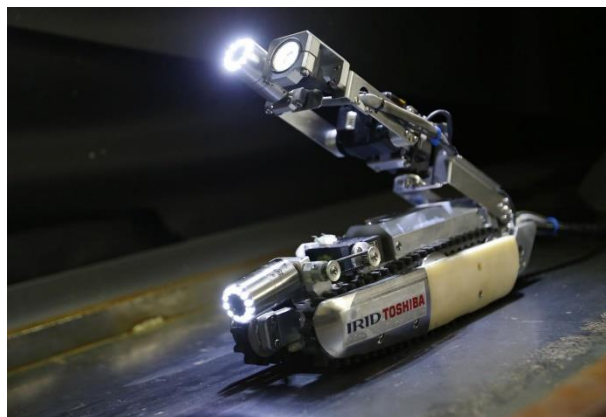
V květnu 2013 bylo vydáno prohlášení Vědeckou komisí Organizace spojených národů zabývající se dopady jaderného záření. Z tohoto prohlášení vyplývá, že únik radiace neměl za následek žádné okamžité zdravotní potíže a že je nepravděpodobné, že by se zdravotní komplikace objevily jak u pracovníků elektrárny, tak u veřejnosti. [49]

### 2.3. Fukušima po havárii

Na začátku listopadu 2013 byly palivové tyče bloku 4 z bazénu vyhořelého paliva vyňaty a postupně převáženy do jiného bazénu. Tyto práce byly dokončeny v prosinci roku 2014. [10]

První zkoumání oblasti v bloku 2 pod tlakovou nádobou proběhlo na začátku roku 2017 pomocí speciálního robota viz obr. 3. Získané informace napomohly k plánům, jak dekontaminovat reaktor od roztaveného paliva. V lednu 2018 bylo provedeno další zkoumání taveniny na dně kontejnmentu. V únoru 2019 byl do objektu vypuštěn speciální robot s kleštěmi, kterému se povedlo vyzvednout ze dna kontejnmentu kousek taveniny. Během této operace probíhalo také měření radiace a teploty. Teplota se po většinu zkoumání pohybovala kolem 23°C. Dávkový příkon rostl s postupným přibližováním k dolní části kontejnmentu

(odhad až 43 sievertů za hodinu). Podle japonských odborníků by se s dekontaminací mělo začít roku 2021. [12] [13]



Obrázek 3 Robot firmy Toshiba [43]

Společnost Tokyo Electric Power Company začala v dubnu 2019 odstraňovat palivo ze skladovacího bazénu ve 3. bloku. Začátek odstraňování byl plánován už na rok 2014, ale byl několikrát odložen kvůli stále vysoké radiaci. K obtížné operaci byla postavena 54 metrů vysoká speciální ocelová konstrukce s filtrační ventilací. Pomocí dálkově řízeného jeřábu by mělo být palivo do dvou let odstraněno. Palivové soubory jsou pod vodou nakládány do ochranných kontejnerů a následně budou převezeny do bezpečnějšího chladícího bazénu. Po dokončení této operace bude následovat odstranění palivových souborů i z bloku 2. Následně by mělo dojít k odstraňování nataveného paliva v reaktorech. [10] [11]

V dnešní době je zaměstnáno v elektrárně 4 500 lidí. Výrazně se zlepšily pracovní podmínky a zvětšilo se území, kde je již možné pracovat bez ochranného oděvu. Velkým pokrokem je průzkum vyzvednutého kousku nataveného paliva viz obr. 4. V říjnu 2019 je naplánovaný odběr vzorků pomocí jiného robota a další zkoumání v laboratořích. V prvním bloku je plánován odběr vzorků pomocí speciálního podvodního robota. [13]



Obrázek 4 Materiál na dně kontejneru [13]

Došlo k vybudování platformy s kontejnerem u stěny bloku 2. Tato platforma posloužila k vybudování vchodů do bloku. V kontejneru se nacházejí operační pracoviště, ze kterých je možné ovládat roboty zkoumající patro s bazénem. U bloku 1 byl rozebrán provizorní kryt a podařilo se odstranit zničenou horní část budovy. Podařilo se také vyčistit patro s bazénem. Velké množství vody, která je kontaminována tritiem (nelze chemicky odstranit), bude třeba skladovat v nádržích i po dekontaminaci. Jedním řešením by také bylo zředění této vody a následné vypuštění do moře. Toto řešení by však mohlo mít negativní společenské dopady.

Také probíhá čištění radioaktivní vody. Při tomto procesu se hromadí vysoce radioaktivní usazeniny. Touto problematikou se zabývá francouzská skupina organizací a firem, které provedly testy, při kterých byl radioaktivní odpad zataven do skla. Tento vývoj by měl být dokončen v polovině roku 2019.

U uložené kontaminované zeminy, která je shromážděna v úložišti ve městech Okuma a Futaba, poklesla radioaktivita přirozeným rozpadem pod hygienické limity. Proto je možné provést separaci a nezávadnou část zeminy dále používat. Tato operace by měla být uskutečněna do roku 2021. Stále jsou prováděny kontroly potravin pocházejících ze zasažených oblastí. Při kontrole nesmí být překročen limit 100 Bq/kg (tento limit je přísnější než v EU). Přestože důvěra a zájem lidí o potraviny roste, je pořád značně hluboko, než byla před havárií. [13]

### 3. Role sdělovacích prostředků

Sdělovací média sehrála velkou roli v událostech, které se děly po fukušimské havárii. Ne všechny informace, které jsme se dozvěděli prostřednictvím různých zpráv, byly založené na pravdě. Často se pouze snažily upoutat pozornost lidí děsivými obrázky, které vůbec s jadernou elektrárnou ve Fukušimě nesouvisely viz obr. 5 a 6. Následkem toho bylo rozpoutání světové paniky a obavy lidí z radiace. To vyvolalo nedůvěru lidí v jadernou elektrárnu a strach, že by se něco podobného mohlo stát i v jiném státě. Jednou z nejvíce zasažených zemí touto panikou bylo Německo. To bylo také jedním z hlavních důvodů změny energetické politiky právě v této zemi.



Obrázek 5 Reportáž v CTV News Channel [37]



Obrázek 6 Reportáž v NHK News [38]

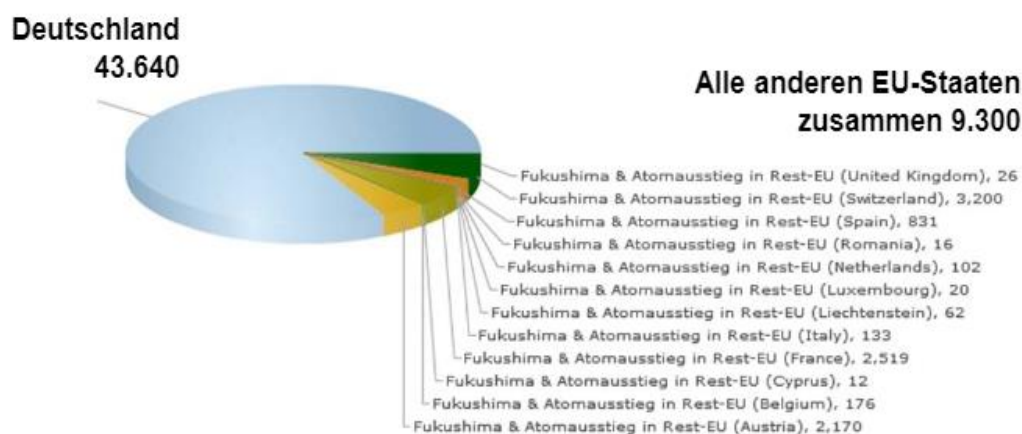


V časopisu Týden se 12. 3. 2011 objevil článek s titulkem „*Japonsko: výbuchy v jaderné elektrárně, 1500 obětí*“ a následovala fotka viz obr. 7. V článku se pak popisuje havárie a stav, v jakém se elektrárna nachází. Dále si zde můžeme přečíst bilanci počtu lidí, kteří přišli o život. [39]



Obrázek 7 Fotka z časopisu Týden [39]

V grafu č. 3 je znázorněno, jak často bylo hledané slovo Fukušima v Evropě. Z grafu je patrné, že v Německu bylo toto hledání několikanásobně větší v porovnání se zbylými státy Evropy. To vedlo u lidí právě v Německu k panice a k nedůvěře k jaderné energii. Následovalo rozhodnutí o změně energetické politiky.



Quelle:  
AREVA & Meltwater News

Graf 3 Výsledky hledání slova Fukušima [40]



## 4. Opatření pro zvýšení bezpečnosti jaderných elektráren

Po havárii jaderné elektrárny Fukušima Daiichi 25. 3. 2011 rozhodla Evropská rada o prověření jaderných elektráren provozovaných na územích členských států Evropské Unie. Skupina evropských regulačních orgánů pro jadernou bezpečnost zveřejnila 13. 5. 2011 způsoby, rozsah a časový rozvrh těchto zátěžových testů. Dne 11. 10. 2011 vydala společnost ENSREG podrobné požadavky na obsah a formát zpráv. Tato prověrka měla za úkol posoudit odolnost proti extrémním přírodním vlivům a schopnost zvládat kritické situace. [18] [51]

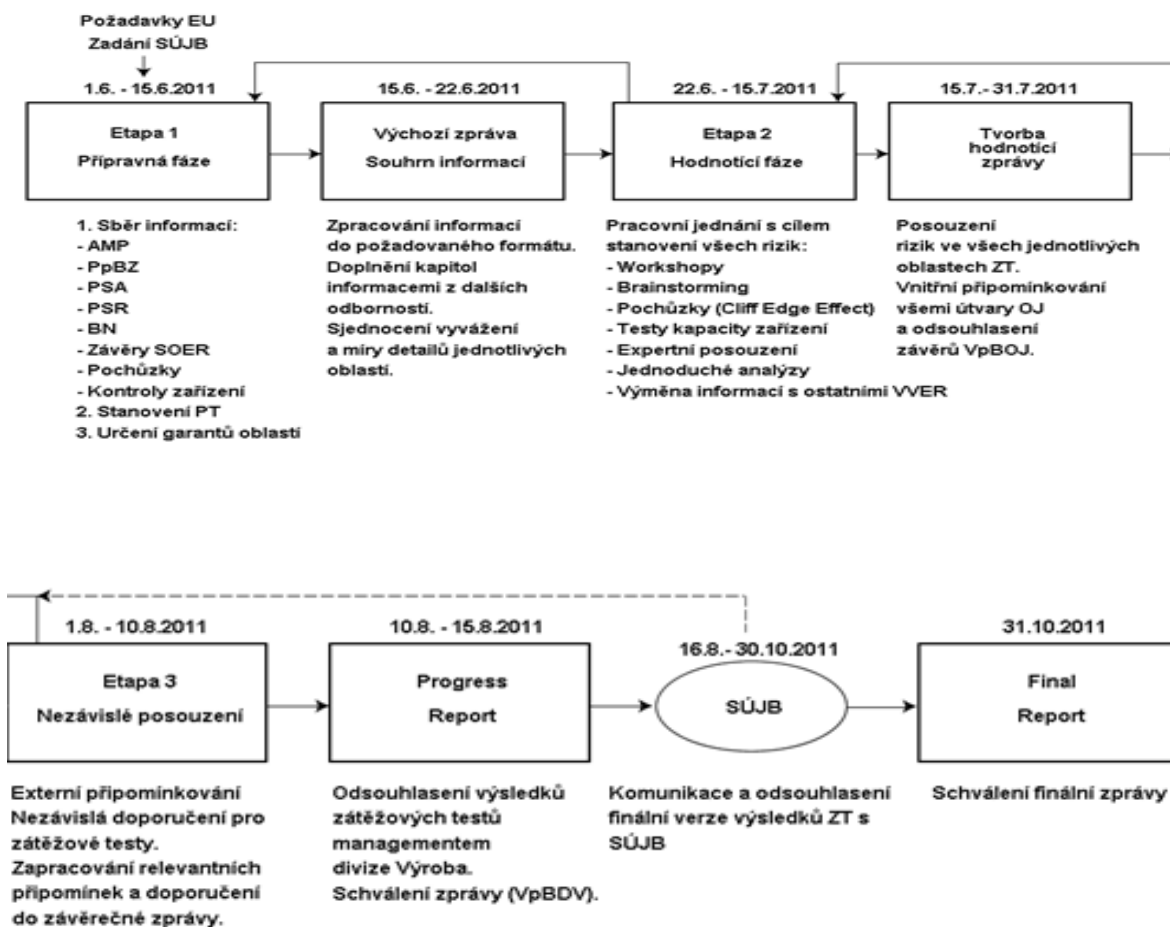
Další cíle stress testů:

- Odhalit chyby v projektu
- Posoudit, zda je jaderná elektrárna umístěna v bezpečné lokalitě
- Zjistit dostatečnost rezerv do maximálně myslitelné havárie
- Zjistit existenci rozumně aplikovatelných opatření pro zvýšení rezerv bezpečnosti [17]

Hodnocení jaderných elektráren probíhalo v oblasti extrémních podmínek (zemětřesení, záplavy, extrémní klimatické podmínky), ztrátě bezpečnostních funkcí (ztráta střídavého napájení, ztráta schopnosti odvádět teplo) a připravenosti pro zvládnutí havárií (koncepte zvládnutí havárií, prevence a zvládnutí ztráty chlazení, prevence a zvládnutí ztráty integrity kontejnmentu). Harmonogram zátěžových testů viz obr. 8. [18]

V České republice proběhly ve 3 fázích:

1. fáze – v České republice ČEZ analyzoval jaderné elektrárny Temelín a Dukovany
2. fáze – posouzení SÚJB a vydání Národní zprávy
3. fáze – hodnocení Národní zprávy experty z České republiky a z členských států EU [51]



Obrázek 8 Harmonogram zátěžových testů [41]

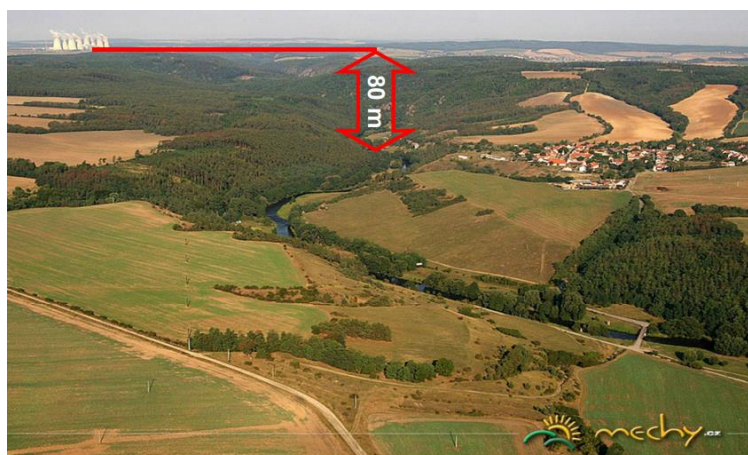
Do těchto testů se zapojily i státy, které nejsou členy EU (např. Rusko, Švýcarsko a Ukrajina). V Evropě bylo zkoumáno 145 reaktorů. Národní zprávy by měly být v souladu s požadavky ENSREG. První část Národních zpráv popisuje lokalitu a rozsah bezpečnostních analýz včetně jejich výsledků. Druhá část obsahuje kapitoly o různých scénářích, zda jsou splněny obecné požadavky. Národní zprávy musely být předloženy do 31. 12. 2011. V únoru 2012 v Lucembursku bylo uspořádáno vzájemné zhodnocení. Součástí hodnocení zemí byla návštěva příslušné jaderné elektrárny, kde byla vysvětlena opatření.

Výsledky neprokázaly žádné zásadní nedostatky, které by vedly u nás ani v ostatních státech k zavření některé z elektráren. Testy prokázaly, že pro riziko zemětřesení nesplňuje v Evropě kritéria 37 % reaktorů a pro povodně 43 %. Nejvíce nedostatků bylo odhaleno ve Francii. Nejlépe dopadla Velká Británie a Německo. V České republice chybí např. systém včasného varování před zemětřesením a bylo navrženo zvýšit ochranu naftových čerpadel proti povodním. [18] [52] [53]

Další navržená opatření pro české elektrárny byla zajistit externí motočerpadlo, mobilní dieselaagregáty, nové postupy a výcvik. Tato opatření není možné většinou realizovat za provozu jaderných elektráren. [55]

#### 4.1. Jaderná elektrárna Dukovany

České jaderné elektrárně Dukovany bylo navrženo 29 zlepšení. Na jaře 2016 došlo k instalování nových chladících ventilátorových věží, které umožňují chlazení i za extrémních teplot ( $\pm 46,2$  °C), odolají větru až 252 km/h a otřesům až do 5,5° RichtEROVY škály. Cílem této operace je zvýšení schopnosti odvodu zbytkového tepla. Elektrárna se nachází v lokalitě s minimálním seizmickým rizikem a minimálním nebezpečím vnějších záplav viz obr. 9. Disponuje velkými zásobami chladící vody a velkým objemem kontejnmentu. [36] [46] [52]



Obrázek 9 Umístění elektrárny Dukovany [36]

Plánované opatření v rámci LTO:

- Dokončení zvýšení seismické odolnosti budov na 0,1g
- Zvýšení počtu rekombinátorů vodíku v kontejnmentu
- Diverzifikované prostředky pro chlazení a odvod tepla z reaktoru a bazénu skladu vyhořelého paliva
- Prostředky pro zajištění celistvosti kontejnmentu
- Dopracování zbývajících technologických postupů a návodů pro zvládnání těžkých havárií

Plánovaná opatření v rámci zátěžových testů:

- Dokončení popisů použití náhradních prostředků – nouzové plány
- Náhradní prostředky pro zajištění stejnosměrného napájení pro kontrolní a řídicí systémy
- Náhradní prostředky silového střídavého napětí
- Náhradní prostředky pro činnost a funkční komunikaci zaměstnanců
- Doplnění organizačních zabezpečení pro zvládání krizových stavů
- Technická opatření pro zabezpečení podpůrných funkcí [36]

#### 4.2. Jaderná elektrárna Temelín

Jaderná elektrárna Temelín se nachází podobně jako jaderná elektrárna Dukovany v seizmicky stabilní oblasti s vyloučením nebezpečí vnějších záplav a s dostatečným zdrojem vody. Silná stránka ochrany je také umístění bazénu s použitým palivem uvnitř kontejnmentu. Elektrárna má vícenásobně zajištěné dodávání elektrické energie z vnějších zdrojů. Z hrozeb byly nalezeny např. lokální záplavy nebo rizika při extrémních atmosférických podmínkách (zamrzání nafty ve vnějších zásobních nádržích). Byl opraven svár vstupu primárního cirkulačního potrubí do tlakové nádoby reaktoru. V roce 2013 byl zajištěn nezávislý způsob doplňování vody do reaktoru, díky kterému je možné zajistit chlazení reaktoru i tehdy, když blok přijde o dalších 10 variant elektrického napájení. Každý ze systému chlazení je minimálně dvakrát zálohovaný. Doplnění vody je možné zajistit pomocí mobilního čerpadla, které v případě nebezpečí dodají temelínští hasiči. Toto čerpadlo bude připojeno do speciálně připraveného místa. Z vlastních zásob (např. z bazénů pod chladícími věžemi) je elektrárna schopna oba bloky chladit přibližně měsíc. [19] [20] [52] [54]

#### 4.3. Zátěžové testy v Německu

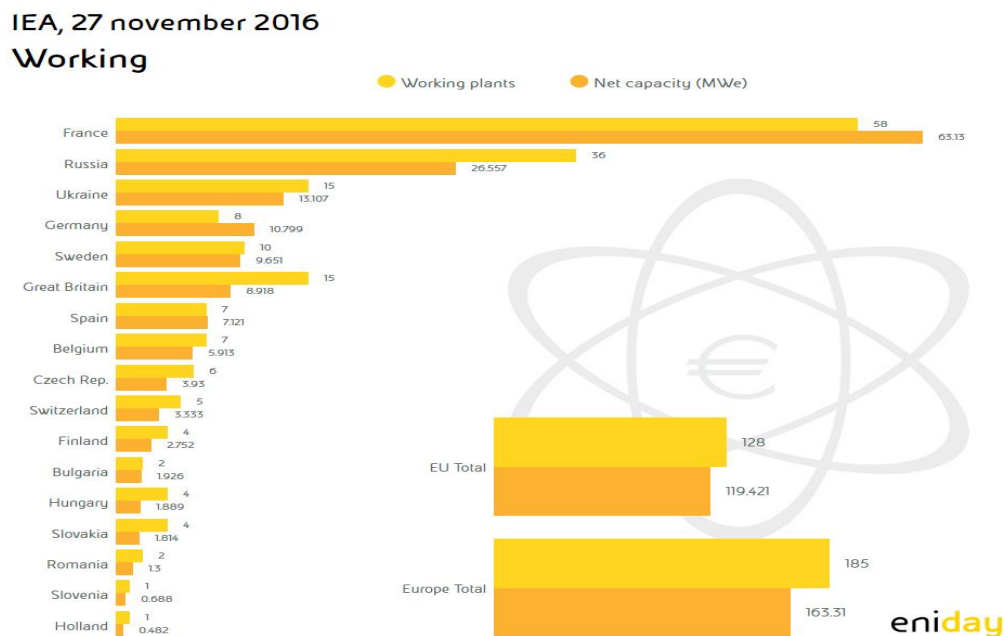
Z hlediska tří hlavních aspektů, a to vnější nebezpečí, ztráta výkonu a schopnosti chlazení a opatření k řízení nehod nebyl zjištěn žádný vážný nedostatek. Německá zpráva poukázala na některé aspekty, které by mohly být zlepšeny, hlavně na reakci na mimořádné události. Tyto aspekty již byly na všech německých zařízeních zlepšeny. [18]

31. 7. 2012 uveřejnila ENSREG akční plán navazující na vzájemné hodnocení zátěžových testů. Národní akční plány měly být zveřejněny do konce roku 2012. Členské státy byly odpovědné za stanovení a rozsah opatření pro své jaderné elektrárny.

22. - 26. 4. 2013 byl uspořádán společností ENSREG v Německu seminář, kde všechny zúčastněné státy prezentovaly své plány a informovaly o stavu opatření, které prováděly po zátěžových testech. Účastníky semináře bylo 68 odborníků z 21 členských států EU, Ukrajiny a Švýcarska a 11 provozovatelů z dalších zemí. V dubnu 2015 se uskutečnil v Bruselu druhý seminář o národních akčních plánech. Cílem tohoto semináře byla vzájemná výměna informací o vývoji opatření a diskuze o technických a organizačních opatření ke zvýšení bezpečnosti. Ukázalo se, že většina akčních plánů je již dokončena nebo bude dokončena do konce roku 2016. [18]

## 5. Energetika v EU po havárii

V Evropě se v jaderných elektrárnách vyrobí asi 30 % elektřiny a představuje více než polovinu nízkouhlíkové elektřiny. Jaderná energie se stala klíčovou pro 14 z 28 členských států EU viz graf 4.



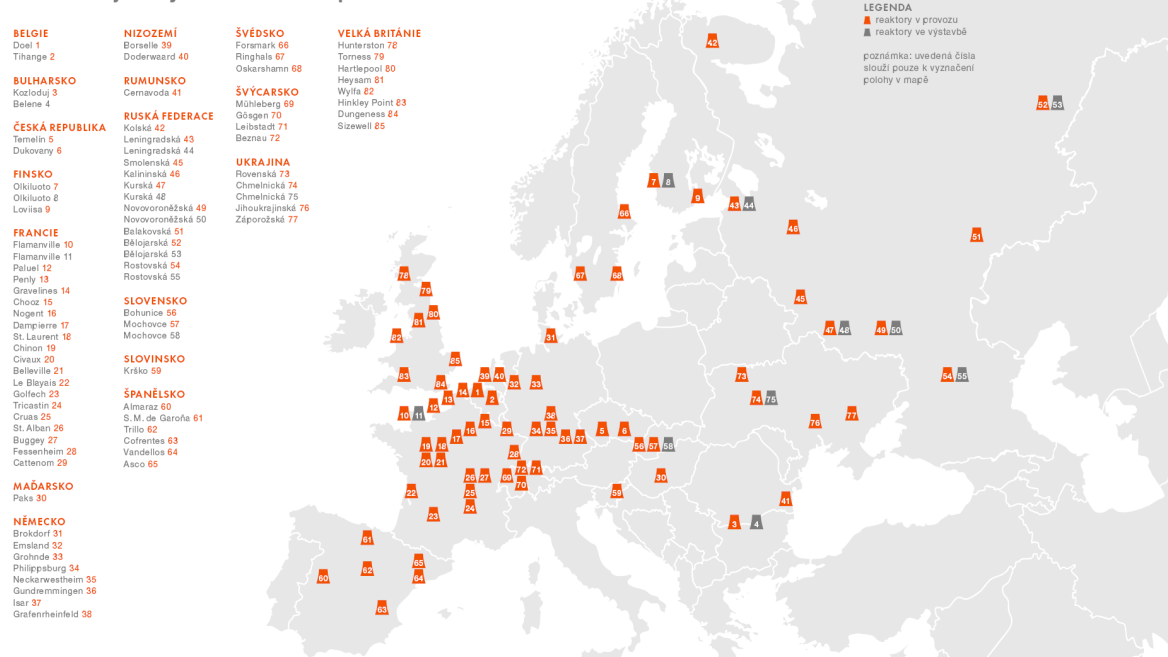
Graf 4 Evropská jaderná energetika [44]

V EU vyrábí jadernou energii 128 reaktorů (rozmístění reaktorů v Evropě viz obr. 10). Evropské země nepatřící do EU (např. Rusko, Norsko, Srbsko, Švýcarsko, Bosna a Hercegovina) jsou spojeny s EU elektricky. Po rozhodnutí v referendu v červnu 2016 chce Velká Británie vystoupit z EU, ale chce zachovat spolupráci hlavně v jaderné energetice. Jaderná energetika EU se do značné míry řídí Smlouvou o Euratomu. [14] [15]

Evropská komise se zabývá jadernými aktivitami ze 3 pohledů:

- Jaderná bezpečnost znamená bezpečný provoz jaderných zařízení. Součástí je i radiační ochrana a nakládání s radioaktivními odpady.
- Jaderné záruky jsou opatření, která mají zajistit, aby byly jaderné materiály používány pouze pro záměry dané uživateli.
- Jaderná zabezpečení souvisí s fyzickou ochranou jaderného materiálu a zařízení před úmyslným poškozením či zneužitím. [16]

Rozmístění jaderných reaktorů v Evropě



Obrázek 10 Rozmístění jaderných reaktorů v Evropě [45]

V červenci 2014 EU změnila směrnici pro jadernou bezpečnost Společná bezpečnostní pravidla pro jaderná zařízení z roku 2009. V únoru 2015 byla zveřejněna rámcová strategie pro odolnou energetickou unii, kde jsou uvedena klíčová opatření, která mají být přijata. Je důležité, aby deset členských států EU splňovalo minimální cíl propojení EU. Podle průmyslové asociace Foratom by měla být EU založena na třech pilířích, a to na udržitelnosti, konkurenceschopnosti a bezpečnosti dodávek. V říjnu 2015 navrhlo EU Foratom cíl uvést do provozu 100 nových reaktorů v letech 2025-2045. Dlouhodobý cíl EU je snížení emisí CO<sub>2</sub>. Cílem ETS je snížení emisí CO<sub>2</sub> do roku 2030 o 40 % úrovně, než zde bylo v roce 1990. V lednu 2014 zveřejnila Evropská komise svůj Rámec pro politiku v oblasti klimatu a energetiky na rok 2030, součástí byl i legislativní návrh pro zavedení stability trhu. V únoru 2015 proběhlo v Evropském parlamentu hlasování o prospěch rezervy stability trhu, která bude fungovat od roku 2019. V usnesení Evropský parlament schválil požadování závazných vnitrostátních cílů ve výši 30 % energie z obnovitelných zdrojů. V roce 2016 Evropská komise potvrdila, že zákony z roku 2008, které vyžadují po členských státech, aby využívaly alespoň 10 % obnovitelné energie v dopravě, budou v roce 2020 vyřazeny.

Evropská komise předložila v květnu 2014 novou Evropskou strategii pro energetickou bezpečnost. Tato strategie se týká závislosti na dovozu energie (např. 39 % plynu v roce 2013 dodává do EU Rusko). Mezi zásadní body patří modernizace energetické infrastruktury,

dokončení vnitřního trhu EU s energií a úspora energie. Bylo uznáno, že jaderná energie patří mezi zásadní a spolehlivé dodávky elektřiny bez emisí a hraje velmi důležitou roli v oblasti bezpečnosti.

V roce 2018 uvedla společnost Euratom, že má EU zásoby uranu, se kterými jsou schopny po tři roky pohánět reaktory členských států. [14]

### Závislost na Rusku

Závislost Evropské unie na Rusku je vysoká, hlavně pokud se jedná o zemní plyn a ropu. Poměrně velká část obohacování uranu se provádí právě v Rusku. Ruské jaderné reaktory nalezneme v Bulharsku, České republice, Finsku, Maďarsku a na Slovensku. Finsko plánuje výstavbu jaderné elektrárny s ruským kapitálem. [14]

Nyní se jaderné elektrárny v Evropě staví ve Finsku, Bělorusku, Francii, Rusku a Slovensku. Další jaderné bloky se plánují stavět do roku 2030 v Bulharsku, v České republice, ve Finsku, v Litvě, v Maďarsku, v Polsku, v Rumunsku, v Rusku, ve Velké Británii, v Turecku a na Ukrajině. [48]

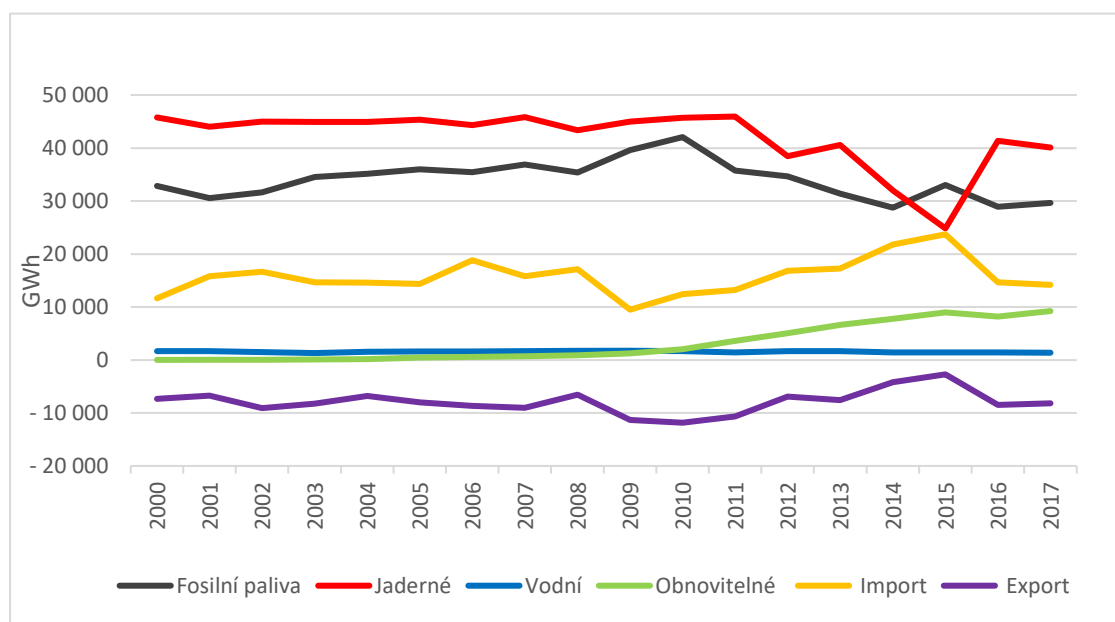


## 5.1. Jednotlivé státy

### 5.1.1. Belgie

V Belgii se nachází 2 jaderné elektrárny Doel a Tihange a mají 7 reaktorů. V roce 2009 rozhodla vláda o prodloužení životnosti nejstarších reaktorů do roku 2025. Do tohoto roku chtějí zcela zrušit výrobu jaderné energie. Jaderná energie představuje v Belgii téměř polovinu výroby elektřiny. V tabulce č. 2 je zaznamenán instalovaný výkon v Belgii.

Dále se vyrábí energie ze zemního plynu (cca 26 %), větrných, solárních, vodních, uhelných elektráren a z biomasy viz graf 5. Nejvíce elektřiny produkuje společnost Electrabel, která provozuje také všechny jaderné elektrárny. V červenci 2012 belgická Rada ministrů rozhodla o uzavření Doel 1 a 2 do roku 2015. Koncem roku 2011 byl proveden průzkum, kde 58 % obyvatel Belgie bylo pro zachování jaderné energie. [24]



Graf 5 Výroba elektřiny v Belgii podle zdrojů [47]

	2000	2005	2010	2015	2016
Instalovaný výkon (GW)	15,69	16,1	18,69	21,16	21,55
Fosilní paliva	8,55	8,71	9,52	8,52	8,54
Jaderné	5,71	5,8	5,93	5,91	5,91
Vodní	1,41	1,41	1,43	1,42	1,43
Větrné	0,01	0,17	0,91	2,18	2,37
Solární PV			0,9	3,12	3,3
Geotermální					
Příliv, vlny, oceán					
Ostatní					

Tabulka 2 Instalovaný výkon v Belgii podle zdrojů [42]

### 5.1.2. Bulharsko

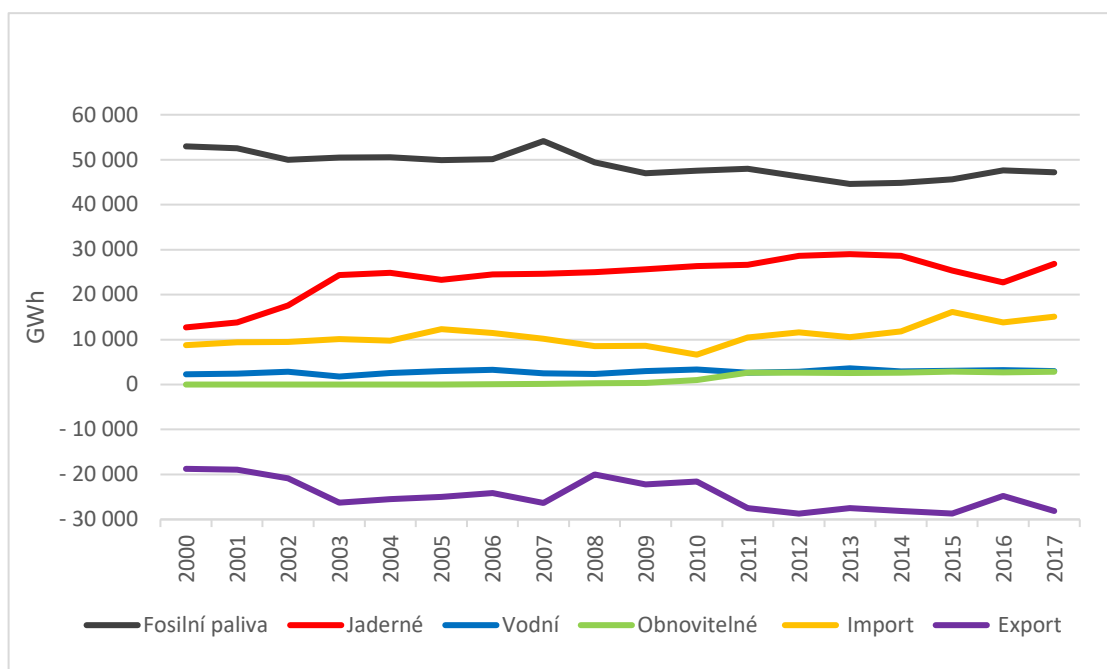
V Bulharsku provozují jednu jadernou elektrárnu Kozloduj, která má 2 tlakovodní reaktory. V roce 2012 byla ukončena výstavba jaderné elektrárny Belene. Plánuje se zde otevřít nová jaderná elektrárna. Jaderná energie představuje v Bulharsku asi jednu třetinu vyrobené elektřiny. V tabulce č. 3 je zaznamenán instalovaný výkon v Bulharsku. [25]

	2000	2005	2010	2015	2016
Instalovaný výkon (GW)	11,09	12,26	1,03	10,91	10,74
Fosilní paliva	5,67	6,68	4,58	3,99	3,82
Jaderné	3,53	2,72	1,89	1,98	1,97
Vodní	1,88	2,85	3,05	3,22	3,22
Větrné		0,01	0,49	0,7	0,7
Solární PV			0,03	1,03	1,03
Geotermální					
Příliv, vlny, oceán					
Ostatní					

Tabulka 3 Instalovaný výkon v Bulharsku podle zdrojů [42]

### 5.1.3. Česká republika

V České republice jsou 2 jaderné elektrárny Temelín a Dukovany. V Temelíně jsou dva reaktory VVER-1000 V-320 a v Dukovanech jsou čtyři reaktory VVER-440 V-213. V těchto elektrárnách se vyrábí zhruba jedna třetina elektřiny viz graf 6. Hlavním zdrojem energie je uhlí, které tvoří přibližně polovinu výroby elektřiny. Dalšími zdroji jsou biopaliva, sluneční záření, vítr a voda viz graf 6. Od roku 2000 se zvyšuje instalovaný výkon z obnovitelných zdrojů. Jaderné elektrárny by měly do roku 2020 dodávat teplo do měst České republiky. Očekává se, že jaderná energie se stane hlavním zdrojem elektřiny, protože je snaha snížit emise oxidu uhličitého. Koncem roku 2012 bylo v Dukovanech dokončeno zvyšování produkce každého z bloků na 500 MWe. Tato operace byla postupně prováděna od roku 2005. Je plánovaná stavba dalších 4 reaktorů (Temelín 1 a 2, Dukovany 3 a 4). V tabulce č. 4 je zaznamenán instalovaný výkon. [28] [29]



Graf 6 Výroba elektřiny v České republice podle zdrojů [47]

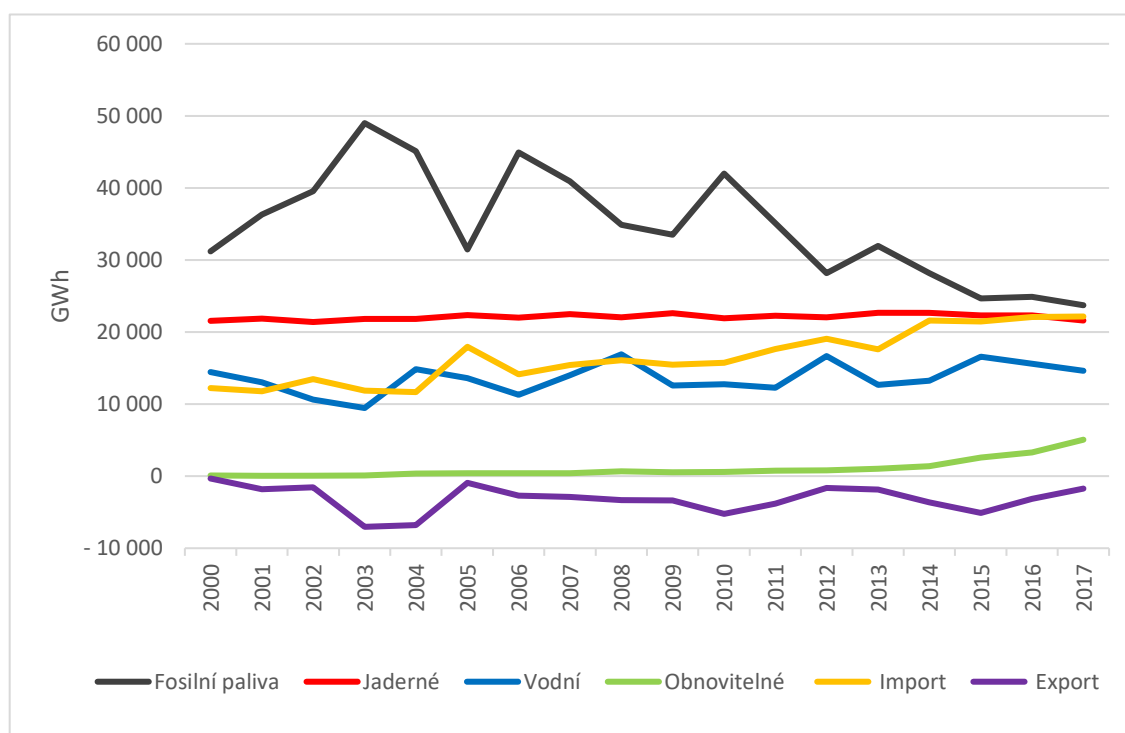
	2000	2005	2010	2015	2016
Instalovaný výkon (GW)	15,32	17,41	20,07	21,87	21,99
Fosilní paliva	11,47	11,46	12,04	12,96	13,09
Jaderné	1,76	3,76	3,9	4,29	4,29
Vodní	2,1	2,17	2,2	2,26	2,26
Větrné		0,02	0,21	0,28	0,28
Solární PV			1,73	2,08	2,07
Geotermální					
Přítliv, vlny, oceán					
Ostatní					

Tabulka 4 Instalovaný výkon v České republice podle zdrojů [42]

#### 5.1.4. Finsko

Nejdůležitější zdroje energie pro výrobu elektřiny jsou ve Finsku jaderná energie, vodní energie, zemní plyn a fosilní paliva viz graf 7. Málo se využívá větrná energie, ale v posledních letech podíl větrné energie roste. Je zde asi 120 energetických společností a asi 400 elektráren. Více než polovinu tvoří vodní elektrárny. V tabulce č. 5 je zaznamenán instalovaný výkon.

Nachází se zde dvě jaderné elektrárny Olkiluoto a Loviisa. V jaderné elektrárně Olkiluoto jsou dva tlakovodní reaktory a v jaderné elektrárně Loviisa jsou taktéž dva tlakovodní reaktory. Výstavba 5. reaktoru ve Finsku má být dokončena v roce 2020, a to v jaderné elektrárně Olkiluoto. V následujících letech by měl být vystaven ještě 6. reaktor v jaderné elektrárně Hanhikivi. Po havárii ve Fukušimě došlo ke zlepšení bezpečnostních i výkonnostních parametrů. V roce 2018 vznikl ve Finsku nový projekt, který hledá způsoby, jak zefektivnit procesy. Ke zvyšování spolupráce s ostatními zeměmi EU vede sdílení a využívání výsledků v rámci členských zemí. Dalším cílem je umožnit vývoj a využití malých reaktorů. Strategie v oblasti energetiky klimatu byla zveřejněna roku 2016, kde Finsko uvedlo, že chce systematicky snížit emise skleníkových plynů o 80-95 % do roku 2050 a do roku 2029 přestat využívat uhlí jako zdroj energie. [20] [22] [27]



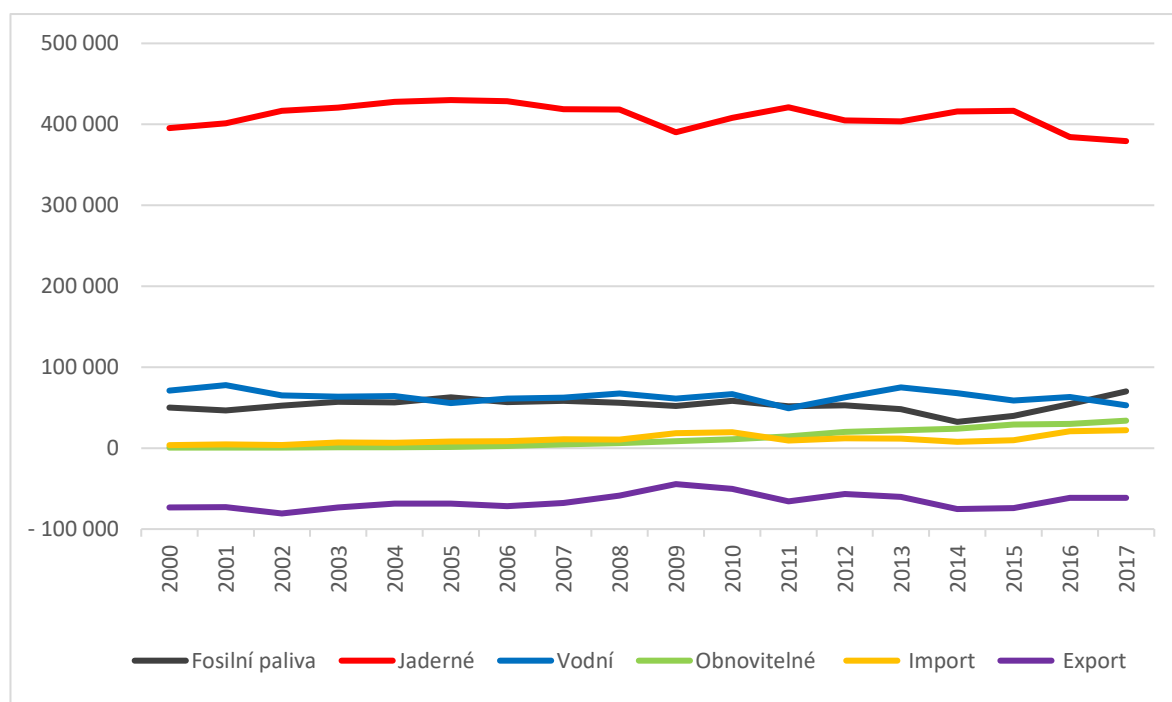
Graf 7 Výroba elektřiny ve Finsku podle zdrojů [47]

	2000	2005	2010	2015	2016
Instalovaný výkon (GW)	16,26	16,47	15,68	16,61	16,27
Fosilní paliva	10,7	10,68	9,61	9,56	8,66
Jaderné	2,64	2,67	2,72	2,75	2,76
Vodní	2,88	3,04	3,16	3,25	3,25
Větrné	0,04	0,08	0,2	1,01	1,57
Solární PV			0,01	0,02	0,04
Geotermální					
Přiliv, vlny, oceán					
Ostatní					

Tabulka 5 Instalovaný výkon ve Finsku podle zdrojů [42]

### 5.1.5. Francie

Hlavním zdrojem energie je ve Francii jaderná energie viz graf 8. Francie patří k největším výrobcům jaderné energie v Evropě. Nachází se zde 58 reaktorů. Jaderné elektrárny patří jaderné společnosti EDF, která provádí jejich modernizaci a zvyšuje bezpečnost a efektivitu. Staví se zde nové jaderné elektrárny a další jsou v plánu. V roce 2015 Národní shromáždění odhlasovalo, že do roku 2025 bude Francie vyrábět 50 % energie z jádra. Toto snížení je podle ministra životního prostředí nereálné a odsunul je až do roku 2035. Po havárii ve Fukušimě proběhl ve Francii průzkum Opinionway a zjistili, že 57 % obyvatel Francie je proti jaderné energii. V tabulce č. 6 je zaznamenán instalovaný výkon. [26]



Graf 8 Výroba elektřiny ve Francii podle zdrojů [47]

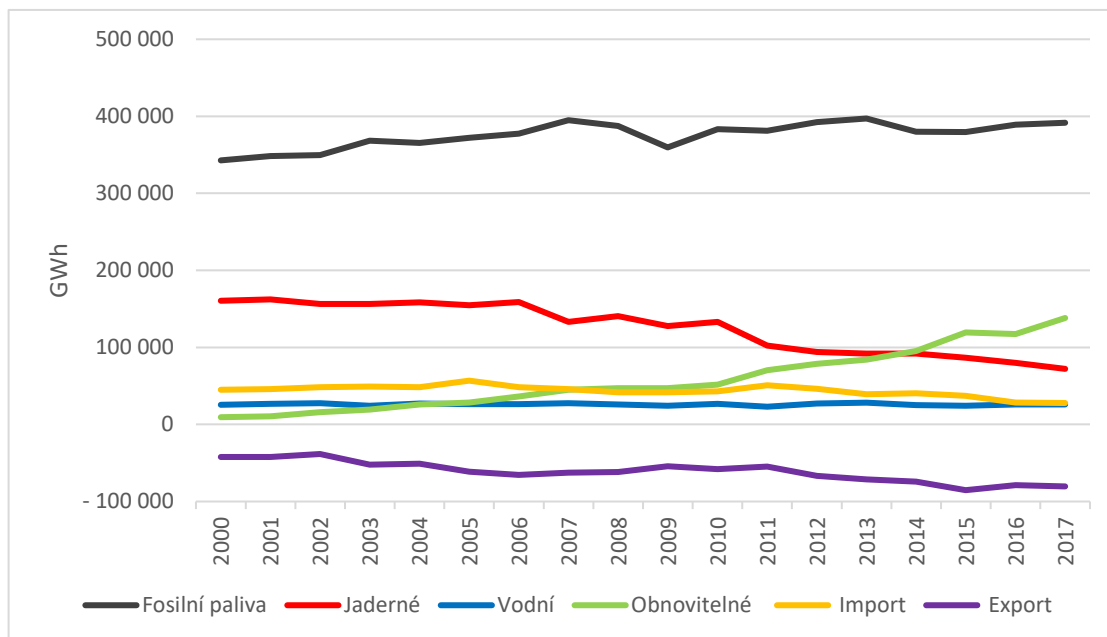
	2000	2005	2010	2015	2016
Instalovaný výkon (GW)	114,52	115,73	124,14	129,94	130,79
Fosilní paliva	25,92	26,42	28,41	24,32	23,14
Jaderné	63,18	63,26	63,13	63,13	63,13
Vodní	25,15	25,13	25,43	25,3	25,52
Větrné	0,04	0,69	5,91	10,22	11,47
Solární PV	0,01	0,01	1,04	6,76	7,32
Geotermální					
Příliv, vlny, oceán	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22
Ostatní					

Tabulka 6 Instalovaný výkon ve Francii podle zdrojů [42]

### 5.1.6. Německo

Po volbách roku 1998 měly být postupně zavírány jaderné elektrárny, ale roku 2009 bylo toto zavírání zrušeno. Do března 2011 mělo Německo aktivních 17 reaktorů, ze kterých získávalo čtvrtinu své elektrické energie. Po havárii ve Fukušimě odstavili nejstarších 8 reaktorů. Mají v plánu do roku 2022 uzavřít všechny jaderné elektrárny. V březnu 2019 bylo v provozu 7 reaktorů, což činí asi 12 % elektrické energie Německa. Další blok má být odstaven koncem roku 2019. Názory obyvatel jsou proti jaderné energii. Německo patří mezi největší dovozce plynu, uhlí a ropy. Z jaderné energie přecházejí na energii z obnovitelných zdrojů (větrná, solární, vodní a biomasa) viz graf 9. Německo patří mezi největší výrobce energie z uhlí a k tomu patří i velké emise CO<sub>2</sub> v Evropě. V září 2011 bylo pozastaveno vybírání daní z jaderného paliva. Velké výkyvy výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů způsobily nerovnováhu na trhu s elektřinou, která vedla k nárůstu cen energie. V květnu 2012 oznámili plány na modernizaci elektrizační soustavy. Než bude vybudovaná nová síť, je Německo závislé na sousedních státech. Zpráva z 28. 11. 2015 The Economist poukázala na velmi drahou elektřinu v Německu. Ve zprávě bylo také uvedeno, že bylo nerozumné velmi rychlé zrušení jaderných elektráren. Po schválení postupného zavření všech jaderných elektráren bylo také odhlasováno stavění nových uhelných a plynových elektráren, ačkoliv si Německo ponechalo své cíle na snížení emisí CO<sub>2</sub>. Přibližně 35 % plynu se dováží z Ruska, tyto dodávky jsou však nejisté kvůli ruskému zabrání Krymu. V dubnu 2018 německý ministr energetiky uvedl, že do roku 2030 dojde ke snížení výroby energie z uhelných elektráren na polovinu, čímž také dojde

ke snížení emisí CO<sub>2</sub>. Do roku 2020 je plánováno, že 20 % dodávek elektřiny bude ze solárních a větrných elektráren. V tabulce č. 7 je zaznamenán instalovaný výkon. [30]



Graf 9 Výroba elektřiny v Německu podle zdrojů [47]

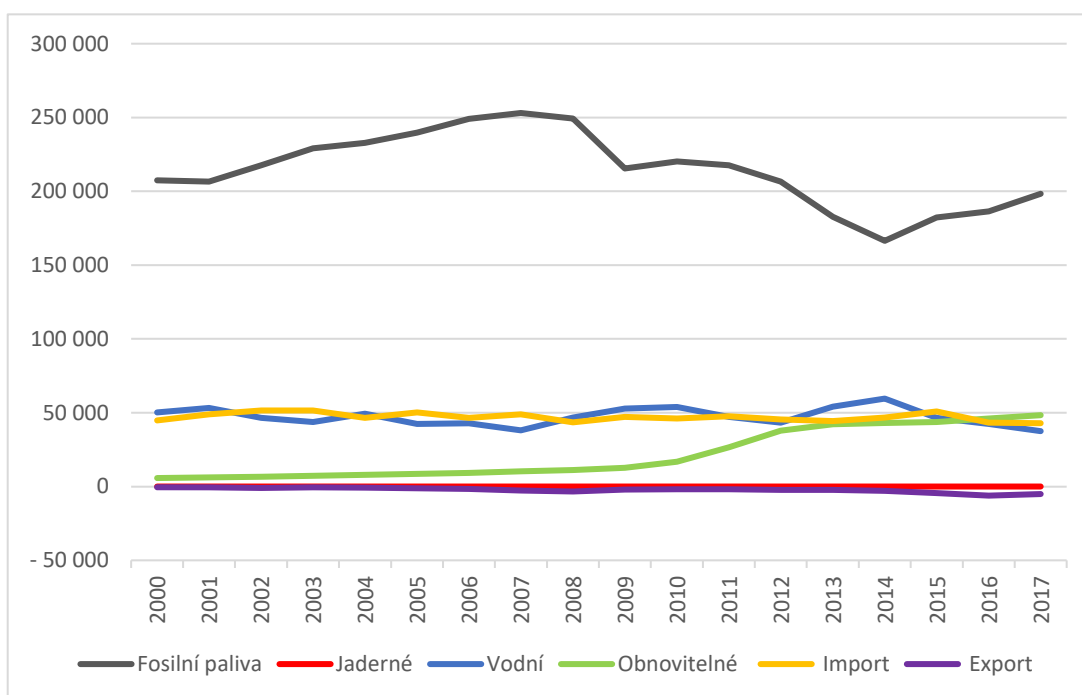
	2000	2005	2010	2015	2016
Instalovaný výkon (GW)	118,88	128,49	162,87	203,42	208,5
Fosilní paliva	80,79	76,38	85,82	96,97	95,72
Jaderné	22,4	20,38	20,47	10,8	10,8
Vodní	9,49	10,86	11,22	11,4	11,3
Větrné	6,1	18,25	26,9	44,58	49,49
Solární PV	0,11	2,06	18,01	39,24	40,71
Geotermální			0,01	0,03	0,03
Příliv, vlny, oceán					
Ostatní		0,57	0,45	0,4	0,35

Tabulka 7 Instalovaný výkon v Německu podle zdrojů [42]

### 5.1.7. Itálie

Po havárii v Černobylu došlo v Itálii k referendu, kde se rozhodovalo o uzavření všech čtyř reaktorů. V roce 1990 se uzavřely všechny jaderné elektrárny. V roce 2008 bylo navrženo obnovení výroby jaderné energie, ale po havárii ve Fukušimě byly tyto plány zrušeny. V referendu hlasovalo 94 % voličů proti výstavbě jaderných elektráren. Jsou i nadále závislí na produkci energie z fosilních zdrojů (viz graf 10) a na dodávce elektrické energie hlavně z Francie.

Jedním z hlavních zdrojů energie je v Itálii voda. Vodní elektrárny najdeme převážně na severu Itálie v Alpách. Tyto elektrárny vyrobí cca 20 % italské spotřeby. Dalším důležitým zdrojem elektřiny je výroba z plynu, což je jedna z nejdražších forem výroby elektřiny. [23] [31]

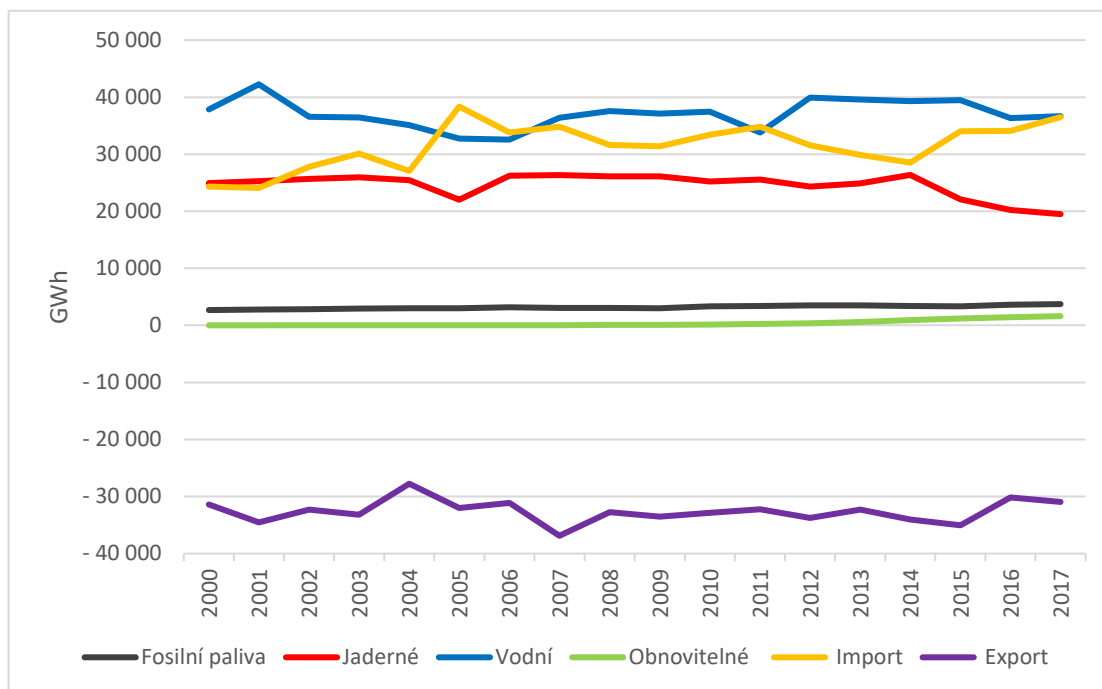


Graf 10 Výroba elektřiny v Itálii podle zdrojů [47]



### 5.1.8. Švýcarsko

Ve Švýcarsku jsou 4 jaderné elektrárny, které mají celkově 5 reaktorů. Po havárii ve Fukušimě mají v plánu do roku 2031 postupně zrušit své jaderné elektrárny. Přehled výroby elektrické energie podle zdrojů energie vyznačuje graf 11. [32]



Graf 11 Výroba elektřiny ve Švýcarsku podle zdrojů [47]

## 6. Závěr

Havárie, kterou zažila jaderná elektrárna Fukušima, je druhou nejhorší jadernou havárií v historii. Následky havárie a přírodní katastrofy, která havárii způsobila, jsou nevyčísitelné. Mnoho lidí přišlo o život, další o střechu nad hlavou a veškerý svůj majetek. Velký dopad měly tyto události na psychický stav lidí. Strach z radiace a následky zemětřesení a tsunami vedly u mnoha lidí až k sebevraždě.

Následkem havárie na jaderné elektrárně Fukušima došlo v Evropě k řadě testů jaderných elektráren. Testy ukázaly, že žádná z testovaných elektráren nebyla v tak špatném stavu, aby muselo dojít k jejímu uzavření. Výsledkem byla opatření, která vedla ke zvýšení bezpečnosti elektráren hlavně zvýšením odolnosti proti přírodním katastrofám a zvládnutím krizových situací. Největší dopad měla havárie v Německu, kde je plánované úplné odstoupení od jádra, dále se plánuje odstoupit od jaderné energie ve Švýcarsku a Belgii. V Itálii došlo ke zrušení plánů stavby jaderné elektrárny. Jaderná energie představuje v Evropě důležitý zdroj elektřiny. Největším výrobcem jaderné energie v Evropě je Francie, která se řadí i k největším výrobcům na světě. V Evropě se také staví nové bloky jaderných elektráren a řada států výstavbu plánuje.

Jaderné elektrárny jsou velmi dobrým zdrojem elektrické energie. Výroba energie je velmi stabilní, protože nezávisí na klimatických podmínkách. Na svůj výkon zabírají velmi malou plochu na rozdíl od větrných či solárních elektráren. Oproti uhelným elektrárnám nevypouštějí do ovzduší škodlivé látky, např. oxid uhličitý. Největší nevýhodou jaderné elektrárny je likvidace jaderného odpadu a velké pořizovací náklady.

## 7. Seznam použité literatury

- [1] DOSTÁL, Václav. *Lidský faktor při havárii ne JE Fukušima Dai-iči*. Praha, 2013
- [2] Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant - Wikipedia. [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima\\_Daiichi\\_Nuclear\\_Power\\_Plant](https://en.wikipedia.org/wiki/Fukushima_Daiichi_Nuclear_Power_Plant)
- [3] Fukushima Daiichi Accident - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-accident.aspx>
- [4] Fukušima-rozbor udalostí - YouTube. *YouTube* [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=MjZNVz8zQb0&t=2210s>
- [5] Uvolněný vodík – Enpedie. [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: [http://enpedie.cz/wiki/Uvoln%C4%9Bn%C3%BD\\_vod%C3%ADk](http://enpedie.cz/wiki/Uvoln%C4%9Bn%C3%BD_vod%C3%ADk)
- [6] Nové keramické obaly pro jaderné palivo | VTM.cz. [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/nove-keramicke-obaly-pro-jaderne-palivo>
- [7] MOX palivo – Wikipedie. [online]. [cit. 10.05.2019] Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/MOX\\_palivo](https://cs.wikipedia.org/wiki/MOX_palivo)
- [8] :: OSEL.CZ :: - Rok po havárii v jaderné elektrárně Fukušima I. :: *OSEL.CZ* :: [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/6163-rok-po-havarii-v-jaderne-elektrarne-fukusima-i.html>
- [9] :: OSEL.CZ :: - Jak se vyvíjí radiační situace ve Fukušimě a okolí. :: *OSEL.CZ* :: [online]. [cit. 05.05.2019]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/5640-jak-se-vyviji-radiacni-situace-ve-fukusime-a-okoli.html>
- [10] Fuel Removal | TEPCO. *Tokyo Electric Power Company (TEPCO) | HOME* [online]. Copyright © Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. [cit. 10.05.2019]. Dostupné z: [https://www7.tepco.co.jp/responsibility/decommissioning/action/spent\\_fuel/index-e.html](https://www7.tepco.co.jp/responsibility/decommissioning/action/spent_fuel/index-e.html)
- [11] Ve Fukušimě odstraňují palivo z bloku 3, riskantní operace potrvá dva roky. *iDnes* [online]. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: [http://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/japonsko-fukusima-palivo-reaktor-tepco.A190415\\_171757\\_zahranicni\\_kha](http://www.idnes.cz/zpravy/zahranicni/japonsko-fukusima-palivo-reaktor-tepco.A190415_171757_zahranicni_kha)
- [12] Novinky ve Fukušimě: provozovatel zveřejnil fotky z roztaveného reaktoru - Euro.cz. *Euro.cz / Ekonomika, byznys, finance* [online]. [cit. 06.05.2019] Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/novinky-ve-fukusime-sonda-se-dostala-k-roztavenemu-materialu-ktery-se-da-uchopit-1440621>
- [13] :: OSEL.CZ :: - Fukušima I po osmi letech. :: *OSEL.CZ* :: [online]. [cit. 06.05.2019]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/10411-fukusima-i-po-osmi-letech.html>
- [14] Nuclear Power in the European Union - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 31.05.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx>

- [15] Jaderná energie | Fakta a čísla o Evropské unii | Evropský parlament. [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/cs/sheet/62/kernenergie>
- [16] Nuclear Energy | Energy. European Commission [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/nuclear-energy>
- [17] DRÁBOVÁ, Dana. *Fukušima rok poté: co jsme se dosud naučili?* [online]. Copyright © [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://spolky.csvts.cz/cns/jarniseminar/prispevky/Drabova.pdf>
- [18] The European stress tests | BMU. *Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit / BMU* [online]. [cit. 20.5.2019] Dostupné z: <https://www.bmu.de/en/topics/nuclear-safety-radiological-protection/nuclear-safety/response-to-fukushima/the-european-stress-tests/>
- [19] Temelín dál posiluje bezpečnost – Novinky.cz. *Novinky.cz – nejčtenější zprávy na českém internetu* [online]. Copyright © 2003 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/ekonomika/311769-temelin-dal-posiluje-bezpecnost.html>
- [20] SÚJB-Souhrn průběhu nehody v JE Fukušima Dai-ichi [online]. [cit. 28.06.2019]. Dostupné z: [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/souhrn\\_final\\_draft-\\_2\\_.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/aktualne/souhrn_final_draft-_2_.pdf)
- [21] *Energiateollisuus* [online]. [cit. 20.5.2019] Dostupné z: [https://energia.fi/en/news\\_and\\_publications/publications/the\\_finnish\\_nuclear\\_industry\\_is\\_looking\\_ahead\\_to\\_new\\_qualification\\_processes.html#material-view](https://energia.fi/en/news_and_publications/publications/the_finnish_nuclear_industry_is_looking_ahead_to_new_qualification_processes.html#material-view)
- [22] Electricity generation - Finnish Energy. *Energiateollisuus* [online]. [cit. 20.5.2019] Dostupné z: [https://energia.fi/en/energy\\_sector\\_in\\_finland/energy\\_production/electricity\\_generation](https://energia.fi/en/energy_sector_in_finland/energy_production/electricity_generation)
- [23] Italský energetický sektor a jeho kapacitní mechanismy. [online]. [cit. 20.5.2019] Dostupné z: <https://oenergetice.cz/zahranicni/italsky-energeticky-sektor-a-jeho-kapacitni-mechanismy>
- [24] Nuclear Power in Belgium | Belgian Nuclear Energy - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/belgium.aspx>
- [25] Nuclear Power in Bulgaria | Bulgarian nuclear energy - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/bulgaria.aspx>
- [26] Nuclear Power in France | French Nuclear Energy - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/france.aspx>
- [27] Nuclear Energy in Finland | Finnish Nuclear Power - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland.aspx>

- [28] Nuclear Power in the Czech Republic | Nuclear Power in Czechia - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/czech-republic.aspx>
- [29] Jaderná energetika v ČR - 1. část. [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-cr/jaderna-energetika-v-cr-1-cast/>
- [30] Nuclear Power in Germany - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 31.05.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/germany.aspx>
- [31] Nuclear Energy in Italy : Italian Nuclear Power - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/italy.aspx>
- [32] Nuclear Power in Switzerland - World Nuclear Association. *World Nuclear Association - World Nuclear Association* [online]. Copyright © 2016 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/switzerland.aspx>
- [33] Fyzmatik.píše – situace v jaderné elektrárně Fukušima [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/438-situace-v-jaderne-elektrarne-fukusima.html>
- [34] Zemětřesení a tsunami v Tóhoku 2011 – Wikipedie. [online]. [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Zem%C4%9Bt%C5%99esen%C3%AD\\_a\\_tsunami\\_v\\_T%C3%B3hoku\\_2011](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zem%C4%9Bt%C5%99esen%C3%AD_a_tsunami_v_T%C3%B3hoku_2011)
- [35] WAGNER Vladimír – *Japonsko: přírodní katastrofa zasáhla čtyři jaderné elektrárny* [online]. [cit. 17.06.2019] Dostupné z: [https://ojs.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/fukusima/japonsko\\_OseI.htm](https://ojs.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/fukusima/japonsko_OseI.htm)
- [36] Kraj Vysočina | Titulní stránka [online]. Copyright © [cit. 17.06.2019]. Dostupné z: [https://www.kr-vysocina.cz/assets/File.ashx?id\\_org=450008&id\\_dokumenty=4042006](https://www.kr-vysocina.cz/assets/File.ashx?id_org=450008&id_dokumenty=4042006)
- [37] First news of the Fukushima Daiichi nuclear disaster - YouTube. *YouTube* [online]. [cit. 17.06.2019] Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=myh82eDziIQ>
- [38] Fukushima meltdown - Caldicott says Japan may become uninhabitable - media silent . *Independent Australia* [online]. Copyright © Copyright 2019 Independent Australia [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <https://independentaustralia.net/business/business-display/fukushima-meltdown--caldicott-says-japan-may-become-uninhabitable--media-silent,3442>
- [39] Japonsko: výbuchy v jaderné elektrárně, 1500 obětí | Týden.cz. *Týden.cz - Aktuální zpravodajství v souvislostech* [online]. Copyright © 2006 EMPRESA MEDIA, a.s. [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: [https://www.tyden.cz/rubriky/zahranici/japonsko-vybuchy-v-jaderne-elektrarne-1500-obeti\\_196202.html](https://www.tyden.cz/rubriky/zahranici/japonsko-vybuchy-v-jaderne-elektrarne-1500-obeti_196202.html)

- [40] Wie Fukushima die Energiepolitik und Energieforschung in Deutschland und international verändert - PDF. *Wir bieten Ihnen benutzerfreundliche und kostenlose Tools zur Veröffentlichung und Austausch von Daten.* [online]. Copyright © DocPlayer.org [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: [http://docplayer.org/58542141-Wie-fukushima-die-energiepolitik-und-energieforschung-in-deutschland-und-international-veraendert.html?fbclid=IwAR1oKxh3nALUqiUdcSo6bHxkwVlw0ztnRbCNFjcho\\_zTQrz1IWftwWgi85c](http://docplayer.org/58542141-Wie-fukushima-die-energiepolitik-und-energieforschung-in-deutschland-und-international-veraendert.html?fbclid=IwAR1oKxh3nALUqiUdcSo6bHxkwVlw0ztnRbCNFjcho_zTQrz1IWftwWgi85c)
- [41] ČEZ- Provedení a výsledky zátěžových testů JE dukovany [online]. Copyright © 2019, ČEZ, a. s. [cit. 01.06.2019]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/zatezove-testy-eu/provedeni-a-vysledky-zatezovych-testu-je-dukovany.html>
- [42] EU energy in figures - Publications Office of the EU. [online]. Copyright © European Union [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: [https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/99fc30eb-c06d-11e8-9893-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search?fbclid=IwAR3cTDi1hx\\_IOBYaB\\_cb3WUJp1LYS7diHkwDIOLCTF2TwyrvxNpFczTrPkY](https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/99fc30eb-c06d-11e8-9893-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search?fbclid=IwAR3cTDi1hx_IOBYaB_cb3WUJp1LYS7diHkwDIOLCTF2TwyrvxNpFczTrPkY)
- [43] Do poškozeného reaktoru elektrárny Fukušima se vydá robot-šorpion | 100+1 zahraniční zajímavost. *100+1 zahraniční zajímavost*[online]. Copyright © Extra Publishing, s. r. o. 2007 [cit. 18.06.2019]. Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/do-poskozeneho-reaktoru-elektrarny-fukusima-se-vyda-robot-sorpion>
- [44] Nuclear energy in Europe (and in Italy) | *Eniday*. [online]. [cit. 17.6.2019] Dostupné z: [https://www.eniday.com/en/technology\\_en/nuclear-energy-europe/](https://www.eniday.com/en/technology_en/nuclear-energy-europe/)
- [45] ČEZ- Jaderná energetika ve světě [online]. Copyright © 2019, ČEZ, a. s. [cit. 18.05.2019]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/je-ve-svete.html>
- [46] Nové chladicí věže v Dukovanech jistí původní hyperboloidy | 3 pól - Magazín plný pozitivní energie. Úvod | *3 pól - Magazín plný pozitivní energie* [online]. Copyright © Třípól [cit. 25.06.2019]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/jaderna-fyzika-a-energetika/1849-nove-chladici-veze-v-dukovanech-jisti-puvodni-hyperboloidy>
- [47] IEA webstore. *Statistics & Data. IEA webstore* [online]. [cit. 25.06.2019] Dostupné z: <https://webstore.iea.org/statistics-data>
- [48] ČEZ-Rozvoj jaderné energetiky ve světě [online]. Copyright © 2019, ČEZ, a. s. [cit. 20.05.2019]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba...dostavba.../rozvoj-jaderne-energetiky-ve-svete.html>
- [49] Následky havárie v jaderné elektrárně Fukushima-Daiichi. Loading interface... [online]. [cit. 25.06.2019] Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrarny-svet/nasledky-havarie-v-jaderne-elektrarne-fukushima-daiichi/>
- [50] :: OSEL.CZ :: - Černobyl a Fukušima. :: *OSEL.CZ* :: [online]. [cit. 25.06.2019] Dostupné z: <http://www.osel.cz/6247-ernobyl-a-fukusima.html>
- [51] SÚJB-Vyjádření SÚJB k Sdělení Evropské Komise k výsledkům zátěžových testů. [online]. [cit. 25.06.2019] Dostupné z: <https://www.sujb.cz/aktualne/detail/clanek/vyjadreni-sujb-k-sdeleni-evropske-komise-k-vysledkum-zatezovych-testu/>

- [52] Stress testy evropských jaderných elektráren ukázaly nedostatky | Radio Praha. *Radio Praha* [online]. Copyright © 1996 [cit. 20.06.2019]. Dostupné z: <https://www.radio.cz/cz/rubrika/udalosti/stress-testy-evropskych-jadernych-elektren-ukazaly-nedostatky>
- [53] Testy jaderných elektráren mají být podle expertů šité na míru – EURACTIV.cz. – *Evropská unie v českých souvislostech* [online]. [cit. 20.06.2019]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/energetika/news/testy-jadernych-elektren-maji-byt-podle-expertu-site-na-miru-stress-testy-temelin-dukovany-jadro-kuba-eu-010288>
- [54] TEMELÍN: další opatření z testů EU – hotovo | Technický týdeník. TT | *Technický týdeník* [online]. Copyright © Business Media CZ, Nádražní 32, 150 [cit. 20.06.2019]. Dostupné z: [https://www.technikytydenik.cz/rubriky/archiv/temelin-dalsi-opatreni-z-testu-eu-hotovo\\_23064.html](https://www.technikytydenik.cz/rubriky/archiv/temelin-dalsi-opatreni-z-testu-eu-hotovo_23064.html)
- [55] HONČARENKO, Radim. *Zátěžové zkoušky JE Dukovany a JE Temelín-závazek do budoucnosti* [online]. Copyright © [cit. 20.06.2019]. Dostupné z: <http://spolky.csvts.cz/cns/jarniseminar/prispevky/Honcarenko.pdf>

## 8. Seznam použitých zkratek

MOX	Mixed Oxide fuel
ČEZ	České energetické závody
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
EU	Evropská unie
ENSREG	The European Nuclear Safety Regulators Group
ETS	Emissions Trading System
LTO	Long term operation
MAAP	Modular Accident Analysis Program
CTV	Canadian television
NHK	Japan Broadcasting Corporation
RCIC	Reaktor Core Isolation Cooling
VVER	Vodo-Vodjanoj Energetičeskij Reaktor
PV	Photovoltaic



## 9. Seznam obrázků

Obrázek 1 Epicentrum zemětřesení [34] .....	8
Obrázek 2 Schéma elektrárny [33] .....	9
Obrázek 3 Robot firmy Toshiba [43] .....	13
Obrázek 4 Materiál na dně kontejmentu [13] .....	13
Obrázek 5 Reportáž v CTV News Channel [37].....	15
Obrázek 6 Reportáž v NHK News [38] .....	15
Obrázek 7 Fotka z časopisu Týden [39] .....	16
Obrázek 8 Harmonogram zátěžových testů [41].....	18
Obrázek 9 Umístění elektrárny Dukovany [36] .....	19
<i>Obrázek 10 Rozmístění jaderných reaktorů v Evropě [45] .....</i>	<i>23</i>

## 10. Seznam grafů

Graf 1 Úbytek zbytkového tepelného výkonu po odstavení [35] .....	10
Graf 2 Radiační situace v prefektuře Fukušima [9] .....	11
Graf 3 Výsledky hledání slova Fukušima [40] .....	16
Graf 4 Evropská jaderná energetika [44] .....	22
Graf 5 Výroba elektřiny v Belgii podle zdrojů [47] .....	25
Graf 6 Výroba elektřiny v České republice podle zdrojů [47] .....	27
Graf 7 Výroba elektřiny ve Finsku podle zdrojů [47].....	28
Graf 8 Výroba elektřiny ve Francii podle zdrojů [47] .....	29
Graf 9 Výroba elektřiny v Německu podle zdrojů [47].....	31
Graf 10 Výroba elektřiny v Itálii podle zdrojů [47] .....	32
Graf 11 Výroba elektřiny ve Švýcarsku podle zdrojů [47] .....	33

## 11. Seznam tabulek

Tabulka 1 Sled událostí po zemětřesení [3] .....	11
Tabulka 2 Instalovaný výkon v Belgii podle zdrojů [42] .....	25
Tabulka 3 Instalovaný výkon v Bulharsku podle zdrojů [42] .....	26
Tabulka 4 Instalovaný výkon v České republice podle zdrojů [42] .....	27
Tabulka 5 Instalovaný výkon ve Finsku podle zdrojů [42].....	29
Tabulka 6 Instalovaný výkon ve Francii podle zdrojů [42] .....	30
Tabulka 7 Instalovaný výkon v Německu podle zdrojů [42].....	31